

СВЯЗЬ РАЗМЕРНО-МАССОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК, ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ И КОНЦЕНТРАЦИИ РТУТИ В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ПРЕСНОВОДНЫХ РЫБ ТРОПИЧЕСКОГО ВЬЕТНАМА

© 2024 г. А. А. Паюта^а, Е. А. Флерова^{а, *}, Д. А. Гульдина^а,
А. С. Ключников^б, В. Т. Комов^с, Н. В. Лобус^д

^аЯрославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия

^бЯрославский государственный технический университет, Ярославль, Россия

^сИнститут биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова Российской академии наук,
пос. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., Россия

^дИнститут физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук,
Москва, Россия

*e-mail: katarinum@mail.ru

Поступила в редакцию 31.05.2022 г.

После доработки 19.07.2023 г.

Принята к публикации 20.07.2023 г.

Определено содержание основных показателей обмена веществ (белков, жиров, углеводов), зола и Hg в мышечной ткани рыб *Anabas testudineus*, *Channa gachua*, *Ch. striata*, *Clarias batrachus*, *Notopterus notopterus*, *Xenentodon cancila* из р. Кай (Кхань Хоа, Южный Вьетнам). Изучена взаимосвязь анализируемых параметров с длиной, массой, упитанностью и полом особей, обитающих в биотопах верхнего и нижнего течения реки. Для всех видов рыб установлено, что размерно-массовые характеристики у особей из нижнего течения реки достоверно выше по сравнению с таковыми у особей из верхнего течения, однако половые различия в длине и массе рыб были иными и разнонаправленными. Самки *Anabas testudineus*, *Clarias batrachus* и *Xenentodon cancila* из биотопов верхнего течения были достоверно крупнее самцов, для *Channa gachua* и *C. striata* различия не выявлены. В нижнем течении самки *Anabas testudineus* и *Channa striata* оставались достоверно крупнее самцов, у *Notopterus notopterus*, *Channa gachua* и *Clarias batrachus* самцы в 1.5–2 раза превышали размеры самок. Аналогичные закономерности выявлены в содержании белков, жиров, углеводов и Hg. Для самок характерно более интенсивное накопление Hg, белка и жира по сравнению с самцами. У *Channa gachua*, *C. striata*, *Notopterus notopterus* и *Xenentodon cancila* самки и самцы из верхнего течения реки содержали в ~1.5–3 раза больше Hg по сравнению с таковыми из нижнего течения. Для *Clarias batrachus* установлена противоположная закономерность, особи обоих полов из биотопов нижнего течения содержали в ~3–4 раза больше Hg по сравнению с верховьем. Достоверной связи содержания Hg с основными показателями обмена вещества, массой и длиной тела у большинства исследованных видов не выявлено. Наибольшие различия анализируемых параметров связаны с полом и условиями местообитания.

Ключевые слова: Южный Вьетнам, река Кай, тяжелые металлы, химический состав, биотоп, ртуть

DOI: 10.31857/S0320965224020065 **EDN:** xtlkxe

ВВЕДЕНИЕ

Ртуть (Hg) обладает уникальными физико-химическими свойствами, что обуславливает особенности ее концентрирования и перераспределения в различных компонентах окружающей среды, а разнообразие форм определяет специфику миграции и трансформации в природных и техногенных условиях (Ullrich et al., 2001; Lindberg et al., 2007; Sonke et al., 2023). В отличие от других тяжелых металлов, Hg способна эффективно накапливаться в пищевых цепях водных экосистем,

оказывая широкий и разносторонний спектр негативных воздействий на живые организмы, их популяции и экосистемы в целом (Selin, 2009; Lobus, Komov, 2016; Yan et al., 2019; Crespo-Lopez et al., 2021; Mao et al., 2021).

В многокомпонентных трофических сетях пресноводных экосистем рыбы представляют собой чаще всего консументов второго и/или более высокого порядков (Костоусов и др. 2019; Параскив и др., 2022). Для них характерно наибольшее накопление Hg, по сравнению с други-

ми гидробионтами, поэтому для оценки отклика экосистемы на поступление металла в водные объекты часто используют уровни содержания Hg в мышечной ткани рыб (Wiener et al., 2006). Среди факторов, определяющих более интенсивное накопление Hg в рыбе, выделяют физико-химические параметры среды, показатели трофической структуры сообщества и функциональное состояние организма (Voudou et al., 1991). К основным абиотическим факторам относят низкие значения рН, умеренно высокую температуру, увеличение содержания растворенной Hg и низкую общую минерализацию воды (Sonke et al., 2023). Среди биотических факторов в первую очередь выделяют содержание Hg в потенциальных объектах питания, обеспеченность кормовой базой и степень разветвленности пищевой цепи, а также преобладание в экосистеме гетеротрофного звена над автотрофным (Watras et al., 1998; Степанова, Комов, 2004; Lobus, Komov, 2016). Немаловажный фактор в накоплении Hg — индивидуальные физиолого-биохимические показатели организма рыб. К ним относят длину, массу и возраст особи, скорость роста, содержание основных продуктов обмена веществ (белков, жиров, углеводов), паразитарную инвазию и общий иммунный статус (Немова, 2005; Zupo et al., 2019; Calboli et al., 2021; Aldhamin et al., 2021). Выбор определенной стратегии накопления, распределения и хранения биохимических компонентов, таких как белки, жиры, углеводы, а также макро- и микроэлементы позволяет видам адаптироваться к изменяющимся условиям среды, происходящим под влиянием климатических, природных и антропогенных факторов, и успешно конкурировать с другими видами за пищевую ресурс и жизненное пространство (Nargis, 2006; Lloret et al., 2014; Mustafa, 2016).

Река Кай, протекающая в провинции Кхань Хоа, Южный Вьетнам, является крупной водной артерией региона и имеет большое народно-хозяйственное значение. Она обеспечивает питьевым и техническим водоснабжением основные города и оросительные системы провинции, которые располагаются на всем ее протяжении. На реке осуществляется активное промысловое и любительское рыболовство, интенсивно развиваются многочисленные объекты аквакультуры (Павлов, Зворыкина, 2014). Эколого-геохимические и токсикологические исследования, проведенные на участках верхнего, среднего и нижнего течений реки, водоемах ее водосборного бассейна, а также прилегающих акваториях залива Нячанг, свидетельствуют о наличии природных и локальных антропогенных источников поступления Hg в водоток (Baturin et al., 2014; Lobus, Komov, 2016; Tomilina et al., 2016; Koukina et al., 2017). К основным источникам антропогенного загрязнения относят бытовые и коммунальные стоки, смывы

с городских территорий во время ливней, частные судоверфи, располагающиеся в эстуарии и специализирующиеся на производстве и ремонте судов (Lobus et al., 2015; Linh et al., 2015; Koukina, Lobus, 2020). В исследованиях, проведенных ранее, были установлены региональные особенности содержания Hg в мышечной ткани тропических видов рыб Центрального и Южного Вьетнама (Lobus, Komov, 2016). Однако комплексный анализ не выявил статистически значимых зависимостей накопления Hg в мышечной ткани рыб от ее содержания в воде, взвешенном веществе или донных отложениях (Lobus et al., 2011; Лобус, 2012). Это свидетельствует о преимущественно трофическом аккумуляровании Hg и наличии иных факторов, определяющих особенности ее накопления в мышечной ткани тропических видов рыб (Lobus, Komov, 2016).

Цель работы — изучить связь содержания Hg с размерно-массовыми характеристиками, полом особей и основными показателями обмена веществ у пресноводных тропических рыб, обитающих в биотопах верхнего и нижнего течения р. Кай.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на р. Кай протяженностью 79 км, с площадью водосборного бассейна 1450 км². Река впадает в Южно-Китайское море, образуя эстуарий, в котором выражены горизонтальный и вертикальный градиенты солёности. Ширина реки изменяется от 3 м в верхнем течении до 400 м в нижнем. Условия обитания гидробионтов различаются в верхнем и нижнем течении реки. В верхней части водотока дно каменистое, в нижней — преимущественно песчаное с гравием и илистым наносом. В верхней части реки скорость потока воды выше, чем в нижней (Павлов, Зворыкина, 2014; Koukina et al., 2017).

Рыбу отлавливали в сухой сезон с марта по август 2010 г. в верхнем (12.269° с.ш., 108.822° в.д.) и нижнем (12.263° с.ш., 109.109° в.д.) течении р. Кай. Для исследования химического состава мышц отбирали виды рыб, отличающиеся по типу питания: эврифаги *Clarias batrachus* (L., 1758) ($n = 42$) и *Anabas testudineus* (Bloch, 1792) ($n = 35$); зоофаги (факультативные хищники) *Channa gachua* (Hamilton, 1822) ($n = 29$), *Channa striata* (Bloch, 1797) ($n = 53$), *Xenentodon cancila* (Hamilton, 1822) ($n = 22$) и *Notopterus notopterus* (Pallas, 1769) ($n = 33$) (Kumar et al., 2007; Lobus, Komov, 2016; Khadse, Gadhikar, 2017; Самойлов, Чан Дык Зьен, 2022). Все исследуемые особи были половозрелыми.

У рыб измеряли длину и массу, с дорсальной части тела ниже спинного плавника отделяли ~5 г мышечной ткани. Для измерения содержания

ртути образцы предварительно высушивали конвекционным способом при температуре +35°C и до анализа хранили в холодильнике при температуре +5°C в герметичных контейнерах. Остаточная влажность образцов не превышала 5%.

В мышцах, высушенных до воздушно-сухого состояния, определяли количество жира, белка, минеральных веществ и углеводов в лаборатории отдела технологий животноводства Ярославского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства — филиала ФНЦ “ВИК им. В.Р. Вильямса”. Содержание белка получали по методу Кьельдаля с помощью полуавтоматической перегонной установки UDK 139 (Velp Scientifica, Италия, 2011 г.) (предел обнаружения ≥ 0.1 мг азота). Долю жира определяли методом обезжиренного остатка в аппарате Сокслета с петролейным эфиром в качестве растворителя, минеральных веществ — гравиметрическим методом, температура сжигания 550°C (Perry et al., 2001; Kawabata et al., 2015). Общее количество углеводов рассчитывали, вычитая из общей массы высушенной ткани долю белка, липидов и минеральных веществ. Ошибка аналитических методов не превышала ± 8 –19%.

Массовую долю общей ртути в мышцах рыб получали в лаборатории физиологии и токсикологии Института биологии внутренних вод РАН, использовали метод беспламенной атомной абсорбции на ртутном анализаторе РА-915⁺ с применением приставки ПИРО-915⁺ Люмэкс, Россия. Точность и достоверность получаемых данных контролировали с помощью сертифицированного биологического материала, изготовленного из печени и мышц акулы (DOLT-2, DORM-2). Нижний предел обнаружения был 0.5 нг/г, ошибка определения не превышала 10%.

Статистическую обработку проводили в два этапа. Первоначально сравнили полученные данные в весенний и летний периоды, чтобы исключить значимые различия между показателями у рыб, отличающихся стадией зрелости гонад. Поскольку достоверных различий между показателями не было обнаружено, выборки за весенне-летний сезон объединили.

Результаты исследования представлены в виде средних значений и их стандартных средних ошибок. Статистическую значимость различий между средними значениями показателей оценивали с помощью методов параметрического дисперсионного анализа (ANOVA, LSD-test). Для проведения множественных апостериорных сравнений средних значений переменных применяли критерий Тьюки (Tukey's HSD).

Для выбора методов корреляционного анализа использовали анализ нормальности распределения показателей с помощью критерия Shapiro–Wilk test. В случае нормального распределения

для корреляционного анализа применяли критерий Пирсона, в случае ненормального распределения — критерий Спирмена.

Уровень значимости p при использовании всех вышеуказанных тестов принимали равным ≤ 0.05 . Математический анализ и обработку результатов проводили с использованием лицензионного пакета программ: MS Excel 2016, Statistica 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В р. Кай самки были крупнее самцов вне зависимости от мест отбора, лишь в нижнем течении самцы *Channa gachua* достоверно превосходили самок по длине и массе тела (табл. 1). Большинство особей из нижнего течения реки были крупнее, чем таковые из верхнего, однако достоверные различия обнаружены только между размерно-массовыми показателями *C. gachua* и *Clarias batrachus* (табл. 1).

При сравнении биохимического состава мышц исследуемых видов из верхнего и нижнего течений р. Кай обнаружен ряд тенденций (табл. 2). Самки из верхнего течения водотока по содержанию белка и жира превосходили таковых из нижнего течения, за исключением *Anabas testudineus* по белку и *Channa striata* и *Ch. gachua* по жиру. В мышцах самцов *Notopterus notopterus* и *Clarias batrachus* из нижнего течения содержание белка оказалось больше, чем у особей в верхнем течении; минеральных веществ у *Channa gachua* и *Clarias batrachus* — меньше. Вне зависимости от пола, особи из верхнего течения реки, за исключением *Anabas testudineus* и *Clarias batrachus*, превосходили по содержанию Hg таковых из нижнего течения (табл. 2).

При сравнении биохимического состава мышц особей разного пола в верхнем течении р. Кай обнаружена тенденция большего содержания белка в мышцах самок исследованных видов по сравнению с самцами, за исключением *Channa gachua* (табл. 2). Не выявлено общей закономерности накопления жира в мышцах видов верхнего течения р. Кай от пола особей. Доля жира в мышцах самок *Xenentodon cancila*, *Channa striata*, *C. gachua* было больше, чем у самцов, у *Anabas testudineus* и *Clarias batrachus* — меньше (табл. 2).

Выявлена тенденция увеличения содержания углеводов и минеральных веществ в мышцах самцов верхнего течения по сравнению с самками, за исключением самцов *Anabas testudineus*, в мышцах которых количество золы было достоверно ниже, чем у особей женского пола (табл. 2). Для биотопа, приуроченного к верхнему течению реки, обнаружена тенденция более высокого содержания Hg в мышечной ткани самок по сравнению с самцами. Однако данные различия были статистически недостоверны (табл. 2).

Таблица 1. Длина и масса тела промысловых видов рыб р. Кай

Пол	Верхнее течение		Нижнее течение	
	масса, г	длина, см	масса, г	длина, см
Пресноводный сарган <i>Xenentodon cancila</i>				
Самец	13.5 ± 1.5^a 9.0–24.0	17.7 ± 0.6^a 15.5–21.0	—	—
Самка	23.9 ± 3.8^a 11.0–44.0	20.9 ± 1.1^a 17.5–25	19.0 ± 4.6 13.0–26.0	20.1 ± 3.1 16.4–25.0
Нотоптерус бронзовый <i>Notopterus notopterus</i>				
Самец	54.0 ± 9.6 20.0–118.0	16.5 ± 0.9 12.0–21.5	73.8 ± 11.6 16.0–127.0	19.3 ± 0.8 16.0–23.0
Самка	—	—	58.6 ± 9.6 10.0–110.0	18.3 ± 0.9 14.5–22.0
Анабас <i>Anabas testudineus</i>				
Самец	12.8 ± 0.7^a 10.0–16.0	7.1 ± 0.2 6.5–8.5	15.8 ± 2.8^a 10.0–25.0	7.7 ± 0.3^a 7.0–8.5
Самка	19.3 ± 2.4^a 13.0–31.0	8.1 ± 0.3 7.0–9.5	26.0 ± 3.7^a 16.0–46.0	8.7 ± 0.5^a 7.0–11.0
Змееголов шеврон <i>Channa striata</i>				
Самец	86.4 ± 10.3 50.0–197.0	20.6 ± 1.0 14.0–30.0	115.2 ± 10.2 51.0–307.0	19.8 ± 0.6 15.0–27.0
Самка	88.0 ± 15.2 67.0–124.0	20.0 ± 1.0 17.0–23.0	182.8 ± 31.6 87.0–300.0	25.5 ± 2.9 18.0–35.0
Змееголов карликовый <i>Ch. gachua</i>				
Самец	68.9 ± 11.1 11.0–201.0	15.7 ± 0.8 9.0–23.0	$418.6 \pm 50.2^{a,*}$ 332.0–584.0	$30.2 \pm 1.4^{a,*}$ 28.0–35.0
Самка	66.1 ± 10.9 36.0–114.0	15.6 ± 0.9 13.0–20.0	$102.0 \pm 0.0^{a,*}$ 100.0–104.5	$18.0 \pm 0.2^{a,*}$ 17.5–19.5
Лягушковый клариевый сом <i>Clarias batrachus</i>				
Самец	53.5 ± 18.2^a 31.0–100.0	17.4 ± 2.2^a 14.0–22.0	$302.5 \pm 39.3^*$ 100.0–514.5	$31.7 \pm 1.5^*$ 22.0–41.0
Самка	133.1 ± 25.1^a 34.0–375.0	23.1 ± 1.2^a 17.0–32.0	$242.6 \pm 41.6^*$ 112.0–375.0	$28.8 \pm 1.1^*$ 26.0–32.0

Примечание. Над чертой — среднее значение и его ошибка, под чертой — диапазон минимального и максимального значения. * — отличия от верхнего течения достоверны при $p < 0.05$; статистически значимые различия между показателями у особей разного пола в одном течении отмечены одинаковыми надстрочными буквенными индексами, $p < 0.05$; “—” — данные отсутствуют.

У самцов исследуемых видов верхнего течения р. Кай не обнаружено зависимости между содержанием ртути в мышцах и размерно-массовыми характеристиками, за исключением особей *Channa striata*, у которых установлена положительная достоверная корреляция между количеством ртути и длиной (табл. 3). У самок *Anabas testudineus*, *Channa gachua* и *Clarias batrachus* выявлена положительная корреляция количества ртути с массой и длиной особей; у самок *Channa striata* — только с массой (табл. 3). В верхнем течении достоверных корреляций между содержанием ртути и количеством белка в мышцах исследуемых видов не обнаружено, за исключением

выявленной отрицательной зависимости у самцов *Channa striata* (-0.673 , $p = 0.033$).

При сравнении биохимического состава мышц особей разного пола в нижнем течении р. Кай обнаружена тенденция к увеличению доли белка и уменьшению количества углеводов у самок по сравнению самцами (табл. 2). По содержанию жира мышечная ткань самок *Anabas testudineus*, достоверно превосходила мышцы самцов (табл. 2). Обнаружена тенденция большего содержания минеральных веществ и меньшего содержания Hg в мышцах самцов по сравнению с самками. Однако достоверных различий между показателями не выявлено (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав скелетных мышц основных промысловых видов рыб р. Кай

Пол	Верхнее течение					Нижнее течение				
	Белок	Зольные вещества	Жир	Углеводы	С, Нг, мкг/г	Белок	Зольные вещества	Жир	Углеводы	С, Нг, мкг/г
	мг/г					мг/г				
	<i>Xenotodon sancila</i>									
Самец	795 ± 10 755–826	47.1 ± 2.6 40.9–55.6	58.8 ± 11.1 15.8–83.9	99.4 ± 22.9 58.8–188.1	1.32 ± 0.05 0.81–1.61	–	–	–	–	–
Самка	823 ± 20 762–893	40.6 ± 5.8 27.0–52.8	81.0 ± 22.8 27.1–159.0	64.1 ± 16.1 26.7–102.4	1.46 ± 0.28 0.81–2.33	754 ± 32 708–800	64.3 ± 0.2* 64.1–64.6	41.8 ± 15.9 27.9–67.8	140.4 ± 21.6* 105.2–159.3	0.51 ± 0.21* 0.23–0.78
	<i>Notopterus notopterus</i>									
Самец	811 ± 11 778–840	49.2 ± 3.4 45.5–61.4	65.2 ± 11.9 42.8–100.5	74.5 ± 18.0 14.3–101.7	0.54 ± 0.15 0.17–0.76	836 ± 16 784–880	49.9 ± 2.7 40.6–58.8	70.9 ± 11.6 45.4–110.4	43.4 ± 18.4 1.1–114.4	0.36 ± 0.11 ^a 0.18–0.77
Самка	–	–	–	–	–	854 ± 20 825–904	52.4 ± 2.9 48.7–58.7	63.2 ± 17.8 35.3–106.4	30.7 ± 12.4 6.6–42.8	1.31 ± 0.12 ^a 0.36–1.84
	<i>Anabas testudineus</i>									
Самец	798 ± 50 716–843	52.9 ± 1.2 ^a 51.1–54.5	94.0 ± 6.4 85.0–103.0	55.6 ± 54.8 3.2–144.6	0.12 ± 0.05 0.05–0.26	794 ± 31 750–838	57.8 ± 9.8 43.7–71.3	36.0 ± 9.2 ^{a*} 23.1–49.1	112.2 ± 28.4 80.5–157.2	0.17 ± 0.01 0.05–0.31
Самка	824 ± 5.0 819–833	63.9 ± 4.4 ^a 57.7–70.1	74.3 ± 14.4 54.0–94.8	37.5 ± 20.5 13.7–69.7	0.23 ± 0.11 0.10–0.54	850 ± 11 812–877	28.7 ± 10.3* 37.2–54.0	64.7 ± 7.0 ^a 40.1–77.3	41.8 ± 15.4 9.3–74.0	0.23 ± 0.03 0.10–0.51
	<i>Channa striata</i>									
Самец	862 ± 10 820–915	49.9 ± 3.3 37.6–67.2	61.8 ± 6.9 27.2–84.5	26.1 ± 7.2 1.3–66.5	0.85 ± 0.20 0.23–1.91	813 ± 8.0* 754–846	53.9 ± 2.3 38.4–69.2	112.2 ± 7.9* 66.6–156.7	20.7 ± 6.2 ^a 0.4–69.9	0.28 ± 0.07* 0.11–0.92
Самка	870 ± 6.0 861–878	46.0 ± 10.0 30.6–58.5	73.1 ± 10.1 56.9–83.7	11.4 ± 6.2 6.1–21.5	0.89 ± 0.41 0.52–1.17	817 ± 7.0* 792–827	51.7 ± 4.7 41.8–65.4	127.4 ± 11.0* 104.5–161.5	4.1 ± 2.5 ^a 0.4–12.7	0.37 ± 0.11 0.07–0.62
	<i>Channa gachua</i>									
Самец	881 ± 8.0 860–900	55.3 ± 3.3 ^a 44.2–64.3	47.0 ± 9.2 31.0–85.5	16.5 ± 6.7 0.4–41.4	0.66 ± 0.13 0.27–1.19	842 ± 11* 806–865	54.5 ± 5.0 41.2–66.8	62.1 ± 9.9 32.3–83.5	42.0 ± 21.2 2.4–112.0	0.46 ± 0.06 0.45–0.47
Самка	880 ± 11 865–908	43.0 ± 4.3 ^a 32.9–49.9	56.3 ± 9.8 39.1–79.2	20.8 ± 11.9 1.6–45.4	0.76 ± 0.11 0.50–1.19	865 ± 14 843–880	46.2 ± 1.9 43.4–48.9	58.9 ± 4.6 52.3–65.2	30.0 ± 20.1 5.7–61.2	0.69 ± 0.13 0.63–0.75
	<i>Clarias batrachus</i>									
Самец	745 ± 29 684–790	62.7 ± 11.1 47.1–90.3	99.5 ± 18.7 52.0–121.2	92.3 ± 47.7 0.63–163.1	0.65 ± 0.15 0.40–0.61	816 ± 13* 742–841	48.1 ± 5.6 20.1–60.7	75.9 ± 4.8 54.9–91.7	60.5 ± 12.5 26.9–120.4	2.10 ± 0.37* 0.53–3.26
Самка	823 ± 70 783–868	45.5 ± 4.3 31.9–55.2	98.5 ± 13.2 32.0–163.7	32.2 ± 7.0 0.9–74.0	0.58 ± 0.10 0.22–3.12	817 ± 10 791–841	43.7 ± 1.4 41.8–48.6	93.3 ± 14.5 54.6–133.0	45.7 ± 14.6 14.5–79.1	2.15 ± 0.17* 1.4–3.1

Примечание. С — концентрация ругти. Над чертой — среднее значение и его ошибка, под чертой — диапазон минимального и максимального значения. * — отличия от верхнего течения достоверны при $p \leq 0.05$; статистически значимые различия между показателями у особей разного пола в одном течении отмечены одинаковыми надстрочными буквенными индексами, $p \leq 0.05$; «—» — данные отсутствуют.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции Спирмена (r) между содержанием ртути в мышцах и длиной и массой рыб р. Кай

Пол	Масса						Длина					
	Верхнее течение			Нижнее течение			Верхнее течение			Нижнее течение		
	n	r	z	n	r	p	n	r	p	n	r	p
<i>Xenentodon cancila</i>												
Самец	10	0.182	0.614	—	—	—	10	0.031	0.933	—	—	—
Самка	9	-0.017	0.966	3	-0.500	0.667	9	-0.178	0.645	3	-0.500	0.666
<i>Notopterus notopterus</i>												
Самец	13	0.225	0.459	11	0.615	0.044	13	0.342	0.253	11	0.547	0.102
Самка	—	—	—	9	0.504	0.166	Данные отсутствуют			9	0.588	0.096
<i>Anabas testudineus</i>												
Самец	12	0.132	0.682	5	-0.300	0.624	12	0.055	0.866	5	-0.359	0.553
Самка	8	0.712	0.048	10	0.332	0.348	8	0.699	0.054	10	0.458	0.183
<i>Channa striata</i>												
Самец	18	0.207	0.410	25	0.021	0.921	18	0.583	0.011	25	0.193	0.356
Самка	4	0.600	0.400	6	0.771	0.072	4	0.100	0.873	6	0.886	0.019
<i>Channa gachua</i>												
Самец	16	0.447	0.083	5	-0.671	0.215	16	0.409	0.116	5	-0.688	0.199
Самка	8	0.571	0.139	—	—	—	8	0.590	0.123	—	—	—
<i>Clarias batrachus</i>												
Самец	4	-0.200	0.800	12	0.448	0.145	4	-0.200	0.800	12	0.270	0.396
Самка	19	0.684	0.001	7	0.414	0.355	19	0.568	0.011	7	0.382	0.398

Примечание. n — число экземпляров, p — уровень значимости; “—” — данные отсутствуют).

В нижнем течении положительная корреляция между содержанием ртути в мышцах и размерами тела зарегистрирована у особей обоего пола *Notopterus notopterus*, а также самок *Channa striata*. Отрицательная зависимость между показателями выявлена у самок *Xenentodon cancila* и самцов *Channa gachua* (табл. 3). В нижнем течении р. Кай не найдено достоверных корреляционных зависимостей содержания ртути и количества белка в мышцах исследованных видов.

Выявлены межвидовые различия содержания ртути в организме рыб (табл. 2). В верхнем течении количество Hg в мышцах возрастало в ряду *Anabas testudineus* — *Notopterus notopterus* — *Clarias batrachus* — *Channa gachua* — *Ch. striata* — *Xenentodon cancila*, в нижнем течении в ряду *Anabas testudineus* — *Channa striata* — *Xenentodon cancila* — *Channa gachua* — *Notopterus notopterus* — *Clarias batrachus*.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В работах по изучению водоемов провинции Кханьхоа не выявлено статистически значимой зависимости содержания ртути в мышцах рыб от ее концентрации в воде или донных отложениях (Лобус, 2012; Lobus, Комов, 2016). Это свиде-

тельствует о преимущественно трофическом пути накопления металла у тропических видов рыб. Хищное питание способствует более интенсивному накоплению ртути, в том числе в водоемах Вьетнама (Grieb et al., 1990; Wiener et al., 2006; Lobus, Комов, 2016). Количество Hg в тканях рыб увеличивается в ряду планктоноядные, типичные бентосоядные, бентосоядные со значительной долей рыбы в пище, типичные хищники (Storelli et al., 2007; Немова и др., 2014; Živković et al., 2017). В р. Кай концентрация Hg в мышцах зоофагов превышала таковую у эврифагов. Исключением был эврифаг *Clarias batrachus*, в мышцах которого содержание Hg было больше, чем у многих факультативных хищников.

Однако для всех видов рыб различия анализируемых параметров, наряду с типом питания, также были связаны с полом и условиями местообитания. Известно, что биотопы верхнего и нижнего течения р. Кай существенно различаются по гидродинамическим и гидрохимическим условиям среды (Lobus et al., 2011). Для низовья р. Кай благодаря низкой скорости течения воды, преимущественно заиленному дну, многочисленным плесам и затонам характерны более благоприятные условия для развития потенциальной кормовой базы рыб и ее более высокому видовому разнообразию. Верховье реки, наоборот, харак-

теризуется высокой скоростью течения, каменистым и крупнопесчаным дном, низкой биомассой и биоразнообразием сообществ зоопланктона и зообентоса (Павлов, Зворыкина, 2014). С одной стороны, различия размерно-массовых характеристик и химического состава мышечной ткани рыб отражают совокупность локальных абиотических и биотических факторов среды, способствующих накоплению Hg в биоте (Lobus et al., 2011; Лобус, 2012). С другой стороны, установленные высокие внутривидовые различия содержания Hg в самцах и самках из биотопов верхнего и нижнего течения отражают их локальную пищевую дифференциацию (Lobus, Komov, 2016). У доминирующих по численности рыб выявлены внутривидовые экологические группы особей, различающиеся адаптивным набором морфологических и поведенческих признаков. Данные различия позволяют им наиболее полно осваивать экологические субниши с разными ресурсами, эффективно использовать кормовую базу местообитаний и снижать внутри- и межвидовую пищевую конкуренцию (Stolbunov, Pavlov, 2006; Столбунов, 2014).

Ртуть и другие тяжелые металлы специфичны по механизмам воздействия на организм. Однако все они оказывают влияние на скорость обменных процессов (Golovanova, 2008; Moiseenko, 2010; Немова и др., 2014). Кроме этого, в организме рыб на интенсивность обмена веществ влияют возраст, пол, пищевой рацион и трофическое положение в пищевой цепи (Ganguly et al., 2017; Мирошниченко, Флерова, 2018; Payuta, Flerova, 2019).

В биотопах верхнего и нижнего течения р. Кай концентрация Hg в мышечной ткани самок, как правило, была выше, чем у самцов. Вероятно, это связано с половыми особенностями биосинтеза и накопления основных продуктов (белков, жиров, углеводов) обмена веществ в организме (Lloret et al., 2014). Самкам необходимо потреблять большее количество пищи для поддержания энергетических затрат, связанных с производством икры (Diana, MacKay, 1979; Adams et al., 1982; Wootton, 1985). При этом, лишь небольшая часть Hg переносится в икру и утилизируется из организма во время нереста (Nicoletto, Hendricks, 1988). Кроме того, существует гипотеза, согласно которой уменьшение количества Hg в организме самцов — результат стратегии выживания за счет снижения активности кормления. Это, предположительно, снижает риск нападения хищников при добывании пищи (Rennie et al., 2008). Схожая закономерность наблюдалась у различных видов рыб, обитающих в водоемах тропических и умеренных широт. В целом биоэнергетическая концепция питания согласуется с полученными нами результатами не только по половому диморфизму содержания Hg, но и размерам тела и биохими-

ческому составу мышечной ткани (Nargis, 2006; Немова и др., 2014; Madenjjan et al., 2015; Mustafa, 2016; Payuta, Flerova, 2019).

Рядом авторов была показана положительная корреляция между содержанием ртути и размером тела у крупных морских хищных рыб, в том числе с малым разбросом размерной выборки (Storelli et al., 2007; Burger, Gochfeld, 2011; Chen et al., 2014). У пресноводных видов, в том числе тропических, подобная зависимость в большинстве случаев не установлена (Vrabo et al., 2000; Lima et al., 2000; Чемагин и др., 2019). Исследователи объясняют положительную корреляцию между содержанием ртути в мышцах рыб и их размером накоплением металла с возрастом особей и питанием крупной рыбой (Živković et al., 2017). Однако в условиях быстро растущей популяции темпы роста организмов способны превышать скорость поглощения металла, что приводит к уменьшению количества накопленной ртути. Поэтому внутривидовая вариабельность содержания металла не может в полной мере объясняться размерно-массовыми различиями особей (Lobus, Komov, 2016). Это подтверждается нашим исследованием. Положительная достоверная корреляция между размерами тела и концентрацией Hg в мышечной ткани не была обнаружена для большинства исследованных видов рыб.

Биохимические механизмы накопления Hg в организме гидробионтов, как правило, связаны с сульфгидрильными группами белков (Piras et al., 2020; Ajsuvakova et al., 2020; Perrone et al., 2023). Это может выражаться в положительной корреляции между содержанием Hg и количеством белка в мышечной ткани (Lange et al., 1994), однако в нашем исследовании такая зависимость не найдена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В мышцах шести видов рыб, обитающих в тропическом регионе, выявлены межвидовые и внутривидовые особенности основного химического состава мышц и содержания в них ртути. Выявлен ряд тенденций в изменении размеров тела, накопления биохимических компонентов и ртути между особями разного пола. В целом, самки были крупнее самцов. В мышечной ткани самок, по сравнению с самцами, содержится больше ртути, белка и жира, меньше — минеральных веществ. Достоверные зависимости между содержанием ртути и размерами тела, а также содержанием ртути и количеством белка в мышцах большинства исследованных особей не установлены. Особи одного вида, обитающие в верховьях и низовьях р. Кай — биотопах с разными гидрохимическими и гидрохимическими условиями — отличаются по массе, длине, содержанию белка, жира и ртути в мышечной ткани. Содержание

ртути в мышцах увеличивалось от эврифагов к зоофагам. Исключение — эврифаг *Clarias batrachus*, который по содержанию ртути превосходил многих факультативных хищников.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят коллектив Российско-Вьетнамского научно-исследовательского и технологического центра (г. Нячанг, Вьетнам) за помощь и поддержку при проведении исследований.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства науки и высшего образования (№ 122042700045-3, Оценка трофической миграции ртути).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Костоусов В.Г., Адамович Б.В., Жукова А.А. и др.* 2019. Об определении допустимого изъятия рыбной продукции в зависимости от продукционных характеристик водоемов // Вестн. рыбохоз. науки. Т. 6. № 4. С. 51.
- Лобус Н.В.* 2012. Содержание ртути в донных отложениях водоемов Южного Вьетнама // Токсикол. вестн. № 2. С. 41.
- Мирошниченко Д.А., Флерова Е.А.* 2018. Опыт выращивания радужной форели в условиях высокогорья Южного Вьетнама: показатели роста и химический состав скелетных мышц // Тр. ВНИРО. Т. 170. С. 116.
- Немова Н.Н.* 2005. Биохимические эффекты накопления ртути у рыбы. М.: Наука.
- Немова Н.Н., Лысенко Л.А., Мещерякова О.В., Комов В.Т.* 2014. Ртуть в рыбах: биохимическая индикация // Биосфера. Т. 6. № 2. С. 176.
- Павлов Д.С., Зворыкин Д.Д.* 2014. Миграции пресноводных рыб Вьетнама // Экология внутренних вод Вьетнама. М.: Тов-во науч. изд. КМК. С. 279.
- Параскив А. А., Терещенко Н. Н., Проскурнин В. Ю. и др.* 2022. Аккумулирующая способность гидробионтов и взвешенного вещества в отношении радиоизотопов плутония в прибрежных акваториях (Севастопольская бухта, Черное море) // Вестн. ТГУ. Биол. № 60. С. 78.
<https://doi.org/10.17223/19988591/60/5>
- Самойлов К.Ю., Чан Дык Зьен.* 2022. Морфологическая изменчивость и особенности биологии анабаса *Anabas testudineus* в водных объектах разного типа // Биол. внутр. вод. № 3. С. 212.
<https://doi.org/10.31857/S0320965222020127>
- Степанова И.К., Комов В.Т.* 2004. Роль трофической структуры экосистемы водоемов Северо-запада России в накоплении ртути в рыбе // Гидробиол. журн. Т. 40. № 2. С. 87.
- Столбунов И.А.* 2014. Адаптивные комплексы морфологических и поведенческих признаков рыб из лотических и лимнических местообитаний // Экология внутренних вод Вьетнама. М.: Тов-во науч. изд. КМК. С. 371.
- Чемагин А.А., Волосников Г.И., Кыров Д.Н., Либерман Е.Л.* 2019. Тяжелые металлы Hg, Cd, Pb в организме стерляди (*Acipenser ruthenus* L.), Нижний Иртыш // Вестн. МГТУ. Т. 22. № 2. С. 225.
<https://doi.org/10.21443/1560-9278-2019-22-2-225-233>
- Adams S.M., McLean R.B., Parrotta J.A.* 1982. Energy partitioning in largemouth bass under conditions of seasonally fluctuating prey availability // Trans. Am. Fish. Soc. V. 111. № 5. P. 549.
[https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1982\)111%3C549:EPILBU%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1982)111%3C549:EPILBU%3E2.0.CO;2)
- Ajsuvakova O.P., Tinkov A.A., Aschner M. et al.* 2020. Sulfhydryl groups as targets of mercury toxicity // Coord. Chem. Rev. V. 417. P. 213343.
<https://doi.org/10.1016/j.ccr.2020.213343>
- Aldhamin A.S., Al-Warid H.S., Al-Moussawi A.A.* 2021. Helminths and their fish hosts as bioindicators of heavy metal pollution: A review // Int. J. Aquat. Sci. V. 12. № 2. P. 3401.
- Baturin G.N., Lobus N.V., Peresyphkin V.I., Komov V.T.* 2014. Geochemistry of channel drifts of the Kai River (Vietnam) and sediments of its mouth zone // Oceanology. V. 54. № 6. P. 788.
<https://doi.org/10.1134/S0001437014050026>
- Boudou A., Delnomdedieu M., Georgescauld D. et al.* 1991. Fundamental roles of biological barriers in mercury accumulation and transfer in freshwater ecosystems (analysis at organism, organ, cell and molecular levels) // Water, Air, Soil Pollut. V. 56. № 1. P. 807.
<https://doi.org/10.1007/BF00342318>
- Brabo E.S., Santos E.O., Faial K.D.* 2000. Mercury contamination of fish and exposures of an indigenous community in Para State, Brazil // Environ. Res. V. 84. № 3. P. 197.
- Burger J., Gochfeld M.* 2011. Mercury and selenium levels in 19 species of saltwater fish from New Jersey as a function of species, size, and season // Sci. Total Environ. V. 409. № 8. P. 1418.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.12.034>
- Calboli F.C., Delahaut V., Deflem I. et al.* 2021. Association between Chromosome 4 and mercury accumulation in muscle of the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) // Evol. Appl. V. 14. № 10. P. 2553.
<https://doi.org/10.1111/eva.13298>
- Chen C.Y., Lai C.C., Chen K.S. et al.* 2014. Total and organic mercury concentrations in the muscles of Pacific albacore (*Thunnus alalunga*) and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) // Mar. Poll. Bull. V. 85. № 2. P. 606.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.039>
- Crespo-Lopez M.E., Augusto-Oliveira M., Lopes-Araújo A. et al.* 2021. Mercury: What can we learn from the Amazon? // Environ. Int. V. 146. P. 106223.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106223>
- Diana J.S., Mackay W.C.* 1979. Timing and magnitude of energy deposition and loss in the body, liver, and

- gonads of northern pike (*Esox lucius*) // J. Fish. Res. Board Can. V. 36. № 5. P. 481.
<https://doi.org/10.1139/f79-071>
- Ganguly S., Mahanty A., Mitra T., Mohanty B.P. 2017. Proximate composition and micronutrient profile of different size groups of hilsa *Tenualosa ilisha* (Hamilton, 1822) from river Ganga // Indian J. Fish. V. 64. P. 62.
<https://doi.org/10.21077/ijf.2017.64.special-issue.76203-09>
- Golovanova I.L. 2008. Effects of heavy metals on the physiological and biochemical status of fishes and aquatic invertebrates // Inland Water Biol. V. 1. P. 93.
<https://doi.org/10.1007/s12212-008-1014-1>
- Grieb T.M., Bowie G.L., Driscoll C.T. et al. 1990. Factors affecting mercury accumulation in fish in the upper Michigan Peninsula // Environ. Toxicol. and Chem. V. 9. № 7. P. 919.
<https://doi.org/10.1002/etc.5620090710>
- Kawabata F., Mizushige T., Uozumi K. et al. 2015. Fish protein intake induces fast-muscle hypertrophy and reduces liver lipids and serum glucose levels in rats // Biosci. Biotechnol. Biochem. V. 79. № 1. P. 109.
<https://doi.org/10.1080/09168451.2014.951025>
- Khadse T.A., Gadhikar Y.A. 2017. Histological and ultrastructural study of intestine of Asiatic knife fish, *Notopterus notopterus* // Int. J. Fish. Aquat. Stud. V. 5. № 1. P. 18-22.
- Koukina S.E., Lobus N.V. 2020. Relationship between enrichment, toxicity, and chemical bioavailability of heavy metals in sediments of the Cai River estuary // Environ. Monit. Assess. V. 192. P. 305.
<https://doi.org/10.1007/s10661-020-08282-6>
- Koukina S.E., Lobus N.V., Peresyphkin V.I. et al. 2017. Abundance, distribution and bioavailability of major and trace elements in surface sediments from the Cai River estuary and Nha Trang Bay (South China Sea, Vietnam) // Estuar. Coast. Shelf. Sci. V. 198. P. 450.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.03.005>
- Kumar P., Prasad Y., Patra A.K., Swarup D. 2007. Levels of cadmium and lead in tissues of freshwater fish (*Clarias batrachus* L.) and chicken in Western UP (India) // Bull. Environ. Contam. Toxicol. V. 79. P. 396.
<https://doi.org/10.1007/s00128-007-9263-y>
- Lange T.R., Royals H.E., Connor L.L. 1994. Mercury accumulation in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in a Florida Lake // Arch. Environ. Contam. Toxicol. V. 27. № 4. P. 466.
<https://doi.org/10.1007/BF00214837>
- Lima A.P., Muller R.C., Sarkis J.E. et al. 2000. Mercury contamination in fish from Santarem, Para, Brazil // Environ. Res. V. 83. № 2. P. 117.
<https://doi.org/10.1006/enrs.2000.4051>
- Lindberg S.E., Bullock R., Ebinhaus R. 2007. Synthesis of progress and uncertainties in attributing the sources of mercury in deposition // AMBIO. V. 36. № 1. P. 19.
- Linh V.T.T., Kiem D.T., Ngoc P.H. et al. 2015. Coastal sea water quality of Nha Trang bay, Khanh Hoa, Viet Nam // JSOE. V. 5. № 3. P. 123.
<https://doi.org/10.17265/2159-5879/2015.03.003>
- Lloret J., Shulman G.E., Love R.M. 2014. Condition and health indicators of exploited marine fishes. Oxford: Wiley Blackwell.
- Lobus N.V., Komov V.T. 2016. Mercury in the muscle tissue of fish in the Central and South Vietnam // Inland Water Biol. V. 9. № 3. P. 319.
<https://doi.org/10.1134/S1995082916030159>
- Lobus N.V., Komov V.T., Thanh N.T.H. 2011. Mercury concentration in ecosystem components in water bodies and streams in Khanh Hoa province (Central Vietnam) // Water Res. V. 38. № 6. P. 799.
<https://doi.org/10.1134/S0097807811060091>
- Lobus N.V., Peresyphkin V.I., Shulga N.A. et al. 2015. Dissolved, particulate, and sedimentary organic matter in the Cai River basin (Nha Trang Bay of the South China Sea) // Oceanology. V. 55. № 3. P. 339.
<https://doi.org/10.1134/S0001437015030121>
- Madenjian C.P., Stapanian M.A., Cott P.A. et al. 2015. Females exceed males in mercury concentrations of burbot *Lota lota* // Arch. Environ. Contam. Toxicol. V. 68. № 4. P. 678.
<https://doi.org/10.1007/s00244-015-0131-1>
- Mao L., Liu X., Wang Z. et al. 2021. Trophic transfer and dietary exposure risk of mercury in aquatic organisms from urbanized coastal ecosystems // Chemosphere. V. 281. P. 130836.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130836>
- Moiseenko T.I. 2010. Effect of toxic pollution on fish populations and mechanisms for maintaining population size // Rus. J. Ecol. V. 41. № 3. P. 237.
<https://doi.org/10.1134/S1067413610030070>
- Mustafa Ö.Z. 2016. Nutrition and gender effect on body composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // J. VetBio Sci. Tech. V. 1. № 1. P. 20.
- Nargis A. 2006. Seasonal Variation in the Chemical Composition of Body Flesh of Koi Fish *Anabas testudineus* (Bloch) (Anabantidae: Perciformes) // Bangladesh J. Sci. Ind. Res. V. 41. № 43. P. 219.
<https://doi.org/10.3329/bjsir.v41i3.292>
- Nicoletto P.F., Hendricks A.C. 1998. Sexual differences in accumulation of mercury in four species of centrarchid fishes // Can. J. Zool. V. 66. № 4. P. 944.
- Payuta A.A., Flerova E.A. 2019. Some Indicators of Metabolism in the Muscles, Liver, and Gonads of Pike-Perch *Sander lucioperca* and Sichel *Pelecus cultratus* from the Gorky Reservoir // J. Ichthyology. V. 59. № 2. P. 225.
<https://doi.org/10.1134/S0032945219020152>
- Perrone P., Spinelli S., Mantegna G. et al. 2023. Mercury chloride affects band 3 protein-mediated anionic transport in red blood cells: role of oxidative stress and protective effect of olive oil polyphenols // Cells. V. 12. P. 424.
<https://doi.org/10.3390/cells12030424>
- Perry D., Shorthose W.R., Ferguson D.M., Thompson J.M. 2001. Methods used in the CRC program for the determination of carcass yield and beef quality // Aust. J. Exp. Agric. V. 41. № 7. P. 953.
<https://doi.org/10.1071/EA00092>

- Piras P., Bella A., Cossu M. et al.* 2020. A representative sampling of tuna muscle for mercury control // *Ital. J. Food Saf.* V. 9. P. 9055.
https://doi.org/10.4081/ijfs.2020.9055
- Rennie M.D., Purchase C.F., Lester N. et al.* 2008. Lazy males? Bioenergetic differences in energy acquisition and metabolism help to explain sexual size dimorphism in percids // *J. Anim. Ecol.* V. 77. № 5. P. 916.
https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01412.x
- Selin N.E.* 2009. Global biogeochemical cycling of mercury: a review // *Annu. Rev. Environ. Resource.* V. 34. № 1. P. 43.
https://doi.org/10.1146/annurev.enviro.051308.084314
- Storelli M.M., Barone G., Piscitelli G., Marcotrigiano G.O.* 2007. Mercury in fish: concentration vs. fish size and estimates of mercury intake // *Food Addit. Contam.* V. 24. № 12. P. 1353.
https://doi.org/10.1080/02652030701387197
- Sonke J.E., Angot H., Zhang Y. et al.* 2023. Global change effects on biogeochemical mercury cycling // *Ambio.* V. 52. P. 853.
https://doi.org/10.1007/s13280-023-01855-y
- Stolbunov I.A., Pavlov D.D.* 2006. Behavioral differences of various ecological groups of roach *Rutilus rutilus* L. and perch *Perca fluviatilis* L. // *J. Ichthyol.* V. 46. № 2. P. 213.
- Tomilina I.I., Grebenyuk L.P., Lobus N.V., Komov V.T.* 2016. Biological effects of contaminated bottom sediments of water bodies in Central and South Vietnam on aquatic organisms // *Inland Water Biol.* V. 9. № 4. P. 413.
https://doi.org/10.1134/S1995082916030196
- Ullrich S.M., Tanton T.W., Abdrashitova S.A.* 2001. Mercury in the aquatic environment: A review of factors affecting methylation // *Environ. Sci. Technol.* V. 31. № 3. P. 241.
- Watras C.J., Back R.C., Halvorsen S. et al.* 1998. Bioaccumulation of mercury in pelagic freshwater food webs // *Sci. Total Environ.* V. 219. № 2–3. P. 183.
- Wiener J.G., Knights B.C., Sandheinreich M.B.* 2006. Mercury in soils, lakes and fish in Voyageurs National Park (Minnesota): importance of atmospheric deposition and ecosystem factors // *Environ. Sci. Technol.* V. 40. № 20. P. 6261.
https://doi.org/10.1021/es060822h
- Wootton R.J.* 1985. Energetics of reproduction // *Fish energetics.* Dordrecht: Springer. P. 231.
https://doi.org/10.1007/978-94-011-7918-8_9
- Yan H., Li Q., Yuan Z. et al.* 2019. Research progress of mercury bioaccumulation in the aquatic food chain, China: A review // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* V. 102. P. 612.
https://doi.org/10.1007/s00128-019-02629-7
- Živković I., Šolić M., Kotnik J. et al.* 2017. The abundance and speciation of mercury in the Adriatic plankton, bivalves and fish—a review // *Acta Adriat.* V. 58. № 3. P. 391. https://doi.org/10.32582/aa.58.3.2
- Zupo V., Graber G., Kamel S. et al.* 2019. Mercury accumulation in freshwater and marine fish from the wild and from aquaculture ponds // *Environ. Pollut.* V. 255. P. 112975.
https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.112975

Relationship of Size and Mass Characteristics, Indicators of Metabolism and Mercury Concentration in Muscle Tissue of Freshwater Fish from Tropical Vietnam

A. A. Payuta¹, E. A. Flerova^{1,*}, D. A. Guldina¹, A. S. Kliuchnikov²,
V. T. Komov³, N. V. Lobus⁴

¹*P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia*

²*Yaroslavl State Technical University*

³*Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences,
Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast, Russia*

⁴*Timiryazev Institute of Plant Physiology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*
*e-mail: katarinum@mail.ru

The main chemical composition and content of mercury in the muscles of freshwater fish species *Xenentodon cancila*, *Notopterus notopterus*, *Anabas testudineus*, *Channa striata*, *Ch. gachua*, *Clarias batrachus* from the rivers of the Cai South Vietnam, and their body sizes, was studied. A trend of more intensive accumulation of mercury, protein and fat in the muscle tissue of females compared to males was revealed. A significant relationship between the content of mercury and body size, as well as the content of mercury and the proportion of protein in the muscles, was not established in most of the studied individuals. Trophic patterns of mercury accumulation in fish muscles were confirmed: its content increased from euryphages to zoophages (facultative predators). An exception is the euryphage *Clarias batrachus*, which surpassed many facultative predators in mercury content. It is shown that individuals of the same species living in the biotopes of the Kai River with different hydrodynamic and hydrochemical conditions differ in weight, length, content of protein, fat and mercury in muscle tissue.

Keywords: South Vietnam, river Kai, heavy metals, chemical composition, biotope, mercury